



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **74499** (13) **U**  
(51) МПК (2012.01)  
**G01R 27/00**  
**G01N 27/04** (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

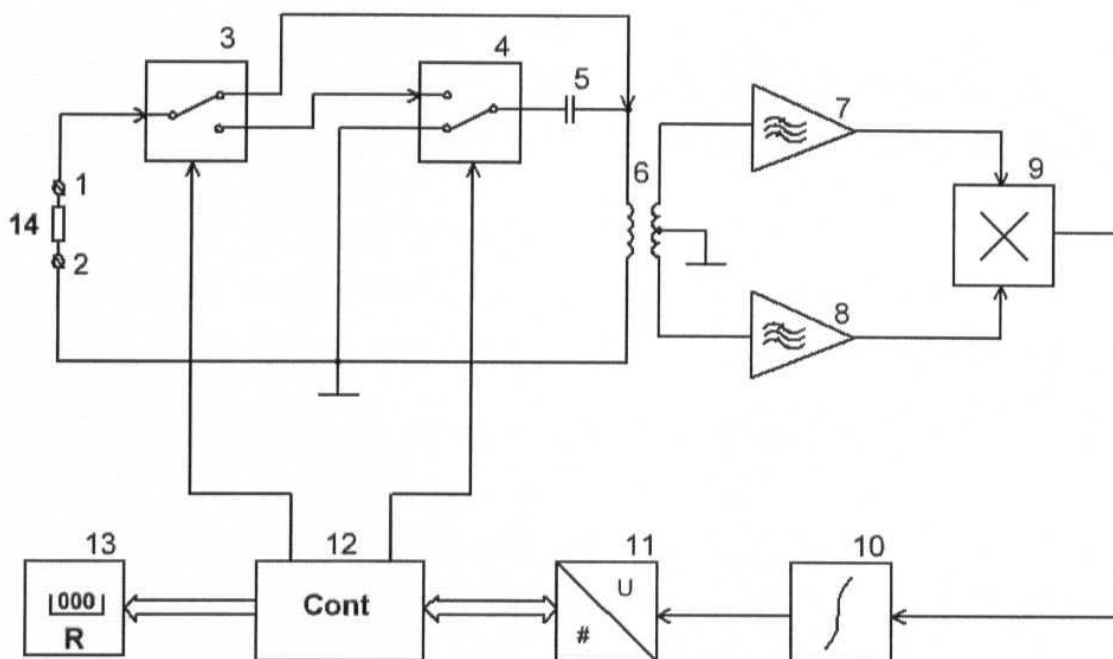
## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: <b>u 2012 05977</b>	(72) Винахідник(и): <b>Скрипник Юрій Олексійович (UA), Лісовський Олександр Анатолійович (UA), Василенко Микола Павлович (UA)</b>
(22) Дата подання заявки: <b>17.05.2012</b>	(73) Власник(и): <b>КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ, вул. Немировича-Данченка, 2, м. Київ-11, 01601 (UA)</b>
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: <b>25.10.2012</b>	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: <b>25.10.2012, Бюл.№ 20</b>	

## (54) ТЕРМОШУМОВИЙ ВИМІРЮВАЧ ЕЛЕКТРИЧНОГО ОПОРУ

### (57) Реферат:

Термшумовий вимірювач електричного опору містить автоматичний перемикач, вузькосмуговий підсилювач, послідовно з'єднані інтегратор, аналого-цифровий перетворювач, мікроконтролер, цифровий індикатор, вхідні клеми, додатковий автоматичний перемикач, додатковий вузькосмуговий підсилювач, перемножувач, конденсатор, котушку взаємної індуктивності.



UA 74499 U



Корисна модель належить до вимірювальної техніки і може бути використана для вимірювання електричного опору різноманітних середовищ і об'єктів без пропускання через них електричного струму від зовнішніх джерел живлення.

Для вимірювання опорів електропровідних об'єктів без пропускання через них електричного струму знайшли застосування термошумові вимірювачі, що використовують залежність напруги внутрішніх теплових шумів від опору електропровідного середовища [Патент України №14264, МПК G01R27/00, 2006р.]. Пристрій такого типу містить смуговий фільтр для виділення теплових шумів у вибраній смузі частот, підсилювач, квадратор, що перетворює шумову напругу у постійну напругу, і вольтметр. За виміряною постійною напругою судять про значення електричного опору.

Однак, напруга теплових шумів однаковою мірою залежить як від опору резистивного середовища, так і від його температури, що обумовлює невизначеність у результатах вимірювання. Крім того, власні шуми електронних елементів вимірювальної схеми накладаються на тепловий шум досліджуваного об'єкта і викривляють результати вимірювання опору об'єкта.

Відомий шумовий вимірювач опору [Патент України №62760A, МПК G01N27/02, 2003 р.], що містить диференційний підсилювач, два підсилювачі підвищеної частоти, множильний блок, фільтр нижніх частот, два автоматичних перемикачі і вимірювальний прилад.

В цьому вимірювачі зменшується вплив на результат вимірювання власних шумів вимірювальної схеми. Але вплив температури резистивного середовища на вимірюваний опір зберігається.

Відомий також термошумовий вимірювач електричного опору [Патент України №16535, МПК G01N27/04, 2006 р.], що містить автоматичний перемикач, вузькосмуговий підсилювач, послідовно з'єднані інтегратор, аналогово-цифровий перетворювач, мікроконтролер і цифровий індикатор та вхідні клеми, одна з яких заземлена. Крім того, пристрій включає інвертор з шунтуючим ключем, диференційний підсилювач, квадратичний детектор, і зразковий резистор, який знаходиться у тепловому контакті з досліджуваним об'єктом.

Виключення впливу температури на результат вимірювання опору здійснюється шляхом вимірювання опору зразкового резистора за його шумами і обчислення відношення опору вимірюваного об'єкта і опору зразкового резистора. Однак, в багатьох випадках відсутня можливість розміщення зразкового резистора в тепловому контакті з досліджуваним об'єктом. Та й опір зразкового резистора з плином часу змінюється випадковим чином, особливо при високих температурах в процесі тривалої експлуатації.

В основу корисної моделі поставлена задача створити такий термошумовий вимірювач електричного опору, в якому введенням нових елементів і зв'язків дозволило б повністю виключити вплив температури безпосередньо на досліджуваний об'єкт і зменшити вплив власних шумів вимірювальної схеми на точність вимірювання електричного опору за його тепловими шумами, що забезпечило б підвищення функціональних можливостей пристрою.

Поставлена задача вирішується тим, що в термошумовий вимірювач електричного опору, який містить автоматичний перемикач, вузькосмуговий підсилювач, послідовно з'єднані інтегратор, аналого-цифровий перетворювач, мікроконтролер і цифровий індикатор та вхідні клеми, одна з яких заземлена, згідно з корисною моделлю, введено додатковий автоматичний перемикач, додатковий вузькосмуговий підсилювач, перемножувач, конденсатор і котушка взаємної індуктивності, при цьому вхідна клемма з'єднана з входом автоматичного перемикача, один вихід якого з'єднаний з потенціальним кінцем первинної обмотки котушки взаємної індуктивності, інший вихід з'єднаний з одним із входів додаткового автоматичного перемикача, інший вхід якого з'єднаний з заземленою вхідною клемою, а вихід з'єднаний через конденсатор з потенціальним кінцем первинної обмотки котушки взаємної індуктивності, інший кінець якої заземлений, виходи вторинної обмотки котушки взаємної індуктивності, середня точка якої заземлена, з'єднані з входами вузькосмугових підсилювачів, виходи яких підключені до входів перемножувача, виходом з'єднаного з входом інтегратора, а логічні різнополярні виходи мікроконтролера з'єднані з керуючими входами автоматичних перемикачів.

Введення в термошумовий вимірювач електричного опору додаткового автоматичного перемикача, додаткового вузькосмугового підсилювача, перемножувача, конденсатора і котушки взаємної індуктивності, включених вказаним чином, дозволяє вхідний LC-фільтр схеми автоматично змінювати налаштування з режиму паралельного резонансу струмів на режим послідовного резонансу напруг, що забезпечує для досліджуваного об'єкта режим холостого ходу і режим короткого замикання. При таких режимах вихідна напруга фільтра виявляється пропорційною напрузі теплових шумів. Підсилення отриманих шумових напруг двома незалежними вузькосмуговими підсилювачами, налаштованими на резонансну частоту LC-

фільтра, наступне їх перемноження і усереднення інтегратором дозволяє придушити вплив власних шумів підсилювачів і перетворити отримані постійні напруги у цифрові коди. Подальша обчислювальна обробка кодів в процесорі мікроконтролера забезпечує отримання цифрового результату, що пропорційний опору досліджуваного об'єкта незалежно від його температури і співрозмірних з шумами підсилювачів теплових шумів самого об'єкта, що підвищує функціональні можливості пристрою.

На кресленні представлена функціональна схема термошумового вимірювача електричного опору.

Вхідні клеми 1 і 2 призначені для підключення досліджуваного резистивного об'єкта. Клема 2 заземлена, а потенціальна клема 1 з'єднана з входом автоматичного перемикача 3. Один з його виходів з'єднаний з одним з входів додаткового автоматичного перемикача 4, до виходу якого через конденсатор 5 підключена первинна обмотка котушки взаємної індуктивності 6. Інший вихід автоматичного перемикача 3 з'єднаний також з первинною обмоткою котушки взаємної індуктивності 6, другий вхід якої з'єднаний з вхідною заземленою клемою 2 і другим виходом додаткового автоматичного перемикача 4. Вторинна обмотка котушки взаємної індуктивності 6, середня точка якої заземлена, з'єднана своїми кінцями з входами вузькосмугових підсилювачів 7 і 8, підключених до входів перемножувача 9. До виходу перемножувача 9 підключені послідовно з'єднані інтегратор 10, аналого-цифровий перетворювач 11, мікроконтролер 12 і цифровий індикатор 13. Керуючі входи автоматичних перемикачів 3 і 4 з'єднані з різнополярними виходами мікроконтролера 12.

Позицією 14 позначений досліджуваний об'єкт, електричний опір якого підлягає вимірюванню.

Термошумовий вимірювач електричного опору працює наступним чином.

Досліджуваний об'єкт 14 підключають до вхідних клем 1 і 2 вимірювальної схеми. По програмі, записаній в пам'яті мікроконтролера 12, автоматичний перемикач 3 встановлюється у верхнє положення, а додатковий автоматичний перемикач 4 за рахунок протилежної полярності керуючого сигналу встановлюється у нижнє положення. При цьому конденсатор 5 з індуктивністю первинної обмотки котушки 6 утворюють паралельний коливальний контур, підключений через автоматичний перемикач 3 до досліджуваного об'єкта 14. Резонансна частота коливального контуру визначається співвідношенням

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}, \quad (1)$$

де L - індуктивність первинної обмотки котушки взаємної індуктивності 6;

C - ємність конденсатора 5.

На частоті резонансу  $f_0$  коливальний контур має активний опір

$$R_k = \frac{L}{C\tau}, \quad (2)$$

де  $\tau$  - активний опір котушки взаємної індуктивності 6.

При високій добротності котушки 6 опір  $\tau$  малий, а опір коливального контуру  $R_k$  великий:

$$R_k \gg R_x, \quad (3)$$

де  $R_x$  - опір досліджуваного об'єкта 14.

В цьому випадку можна вважати, що теплові шуми, які генеруються в досліджуваному об'єкті 14, практично не шунтуються зовнішнім опором контуру (холостий хід). У відповідності до формули Найквіста середньоквадратична напруга резонансного ланцюга

$$\overline{U_{\text{ш}}} = \sqrt{4kT\Delta f R_x}, \quad (4)$$

де k - постійна Больцмана;

T - температура досліджуваного об'єкта;

$\Delta f$  - смуга частот спектра теплових шумів, що виділяються коливальним контуром;

$R_x$  - електричний опір досліджуваного об'єкта.

Шумова напруга (4) трансформується у вторинну обмотку котушки взаємної індуктивності 6 і далі підсилюється вузькосмуговими підсилювачами 7 і 8, налаштованими на резонансну частоту (1) коливального контуру, що складається з конденсатора 5 та котушки взаємної індуктивності 6. На виході перемножувача 9 формується напруга, пропорційна квадрату шумової напруги (1) і добутку шумових напруг вузькосмугових підсилювачів 7 і 8. Отримані напруги усереднюються інтегратором 10. В результаті усереднення добутки власних шумів двох незалежних вузькосмугових підсилювачів 7 і 8 зводиться до нульового значення, оскільки власні шуми незалежних підсилювачів некорельовані. В той же час теплові шуми, що виділяються коливальним контуром, що складається з конденсатора 5 та котушки взаємної індуктивності 6, корельовані відносно заземленої середньої точки вторинної обмотки котушки взаємної

індуктивності 6 і входів вузькосмугових підсилювачів 7 і 8. Завдяки цьому постійна складова напруги на виході інтегратора 10 приймає значення

$$U_1 = k_1 k_2 S \overline{U_{ш1}^2}, \quad (5)$$

де  $k_1$  і  $k_2$  - коефіцієнти підсилення підсилювачів 7 і 8;  
5  $S$  - крутизна перетворення перемножувача 9;

$\overline{U_{ш1}^2}$  - дисперсія (середній квадрат) теплових шумів досліджуваного об'єкта 14.

Постійна напруга (5) перетворюється аналого-цифровим перетворювачем 11 в цифровий код

$$N_1 = \frac{4}{q} k_1 k_2 S k T \Delta f R_x, \quad (6)$$

10 де  $q$  - одиниця молодшого розряду аналого-цифрового перетворювача 11.

Цифровий код (6) вводиться в мікроконтролер 12, де запам'ятовується.

Далі за програмою в мікроконтролері 12 змінюється полярність керуючих сигналів. В результаті автоматичний перемикач 3 перемикається в нижнє положення, а додатковий автоматичний перемикач 4 - в верхнє положення. При цьому змінюється конфігурація  
15 коливального контуру, що складається з конденсатора 5 та котушки взаємної індуктивності 6. Він з паралельного контуру перетворюється на послідовний. Оскільки резонансна частота залишається незмінною (1), то виконується умова

$$2\pi f_0 L = \frac{1}{2\pi f_0 C}. \quad (7)$$

Рівність реактивних складових опору резонансного контуру означає, що струм через  
20 первинну обмотку котушки взаємної індуктивності 6 практично визначає тільки опір досліджуваного об'єкта 14 (режим короткого замикання). У відповідності з формулою Найквіста середньоквадратичне значення шумового струму

$$\overline{I_{ш}} = \sqrt{\frac{4kT\Delta f}{R_x}}. \quad (8)$$

Шумовий струм (8), що протікає через первинну обмотку котушки взаємної індуктивності 6,  
25 створює на вторинній обмотці шумову напругу, середньоквадратичне значення якої

$$\overline{U_{ш2}} = 2\pi f_0 M \overline{I_{ш}}, \quad (9)$$

де  $M$  - коефіцієнт взаємної індуктивності котушки 6.

Шумова напруга (9) підсилюється також двома вузькосмуговими підсилювачами 7 і 8. Підсилені напруги перемножуються в перемножувачі 9, а отримана напруга усереднюється в  
30 інтеграторі 10. По аналогії з виразом (5) постійна складова напруги на виході інтегратора 10

$$U_2 = k_1 k_2 S \overline{U_{ш2}^2}, \quad (10)$$

Постійна напруга (10) перетворюється аналого-цифровим перетворювачем 11 в цифровий код

$$N_2 = \frac{4}{q} k_1 k_2 S k \frac{T \Delta f}{R_x} (2\pi f_0 M)^2, \quad (11)$$

35 який також вводиться в мікропроцесор 12 і запам'ятовується.

Далі в мікропроцесорі у відповідності до програми проводиться обчислювальна операція, в результаті якої утворюється цифровий код відношення кодів

$$N_3 = \frac{N_1}{N_2} = \left( \frac{R_x}{2\pi f_0 M} \right)^2. \quad (12)$$

Наступна обчислювальна обробка передбачає взяття квадратного кореня з коду (12):

$$40 \quad N_4 = \sqrt{N_3} = \frac{R_x}{2\pi f_0 M}, \quad (13)$$

і множення одержаного результату (13) на постійний коефіцієнт:

$$N_5 = N_4 = (2\pi f_0 M) = R_x. \quad (14)$$

Отриманий цифровий код (14) перетворюється в форму, зручну для відліку, яка виводиться на цифровий індикатор 13.

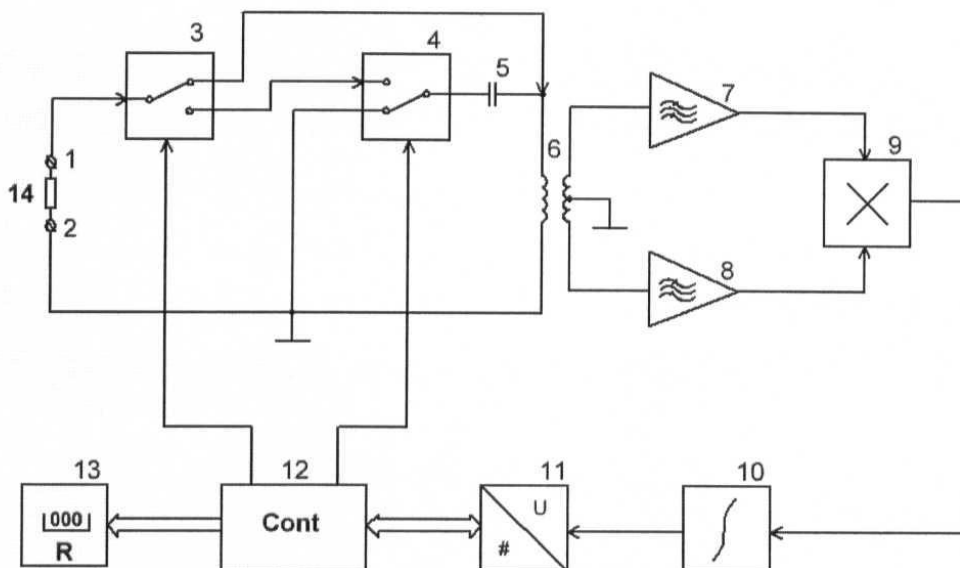
45 Таким чином, запропонована схема забезпечує безпосереднє вимірювання електричного опору досліджуваного об'єкта незалежно від його температури. При цьому виключається вплив власних шумів вузькосмугових підсилювачів 7 і 8 на результат вимірювання, що дозволяє

вимірювати електричний опір об'єкта 14 в широкому динамічному діапазоні. Виключається також вплив нестабільності коефіцієнтів підсилення вузькосмугових підсилювачів ( $k_1$  і  $k_2$ ), нестабільності крутизни перетворення перемножувача (5), непостійності смуги частот теплових шумів, що виділяються коливальним контуром ( $\Delta f$ ), а також похибки аналогово-цифрового перетворювача від обмеженої розрядності ( $q$ ). Вказані параметри не входять у кінцеві розрахункові формули (12) - (14) і тому їх вплив виключений.

Для виключення впливу неінформативних низькочастотних шумів (флікер-шум, власні перешкоди, вібрації і т.д.) доцільно теплові шуми виділяти в діапазоні частот 150-400 кГц в смузі частот 5-10 кГц. Змінювати конфігурацію коливального контуру (перехід від паралельного резонансу до послідовного) надійно і просто за допомогою магнітокерованих реле (герконів), підключених до логічних виходів програмованого мікроконтролера. Час вимірювання електричних опорів термешумовим методом визначається постійною часу інтегратора, яку вибирають достатньо великою (кілька десятків секунд) виходячи з статистичної природи вимірюваної величини (шумової напруги), при цьому немає необхідності в пропусканні електричного струму від зовнішнього джерела, через досліджуваний об'єкт, що виключає електрохімічний розклад і окислення.

#### ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Термешумовий вимірювач електричного опору, який містить автоматичний перемикач, вузькосмуговий підсилювач, послідовно з'єднані інтегратор, аналого-цифровий перетворювач, мікроконтролер і цифровий індикатор та входні клеми, одна з яких заземлена, який **відрізняється** тим, що введено додатковий автоматичний перемикач, додатковий вузькосмуговий підсилювач, перемножувач, конденсатор і котушку взаємної індуктивності, при цьому входна клемма з'єднана з входом автоматичного перемикача, один вихід якого з'єднаний з потенціальним кінцем первинної обмотки котушки взаємної індуктивності, інший вихід з'єднаний з одним із входів додаткового автоматичного перемикача, інший вхід якого з'єднаний з заземленою входною клемою, а вихід - з'єднаний через конденсатор з потенціальним кінцем первинної обмотки котушки взаємної індуктивності, інший кінець якої заземлений, виходи вторинної обмотки котушки взаємної індуктивності, середня точка якої заземлена, з'єднані з входами вузькосмугових підсилювачів, виходи яких підключені до входів перемножувача, виходом з'єднаного з входом інтегратора, а логічні різнополярні виходи мікроконтролера з'єднані з керуючими входами автоматичних перемикачів.



Комп'ютерна верстка А. Крулевський

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601